ABR/UBR 서비스를 이용한 TCP 성능개선에 관한 연구

김명희† · 박봉주†† · 박승섭†††

요 약

초고속 인터넷의 멀티미디어 서비스 통합에 대한 해결책으로 ATM 네트워크 기술이 널리 사용되고 있다. 특히 ABR과 UBR 서비스 클래스는 데이터 애플리케이션을 지원하기 위해 발전되었다.

본 논문에서는, UBR 서비스 상에서는 빠른 재전송과 회복 (FRR) 및 Nagle's 알고리즘의 적용과, ABR 서비스 상에서는 EFCI 스위치 파라미터 조절을 통한 TCP 데이터의 전송성능 향상 효과를 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 본 연구의 결과로, ATM 네트워크 상에서 TCP의 성능향상은 TCP 파라미터의 조절과 효과적인 스위치 파라미터의 설정을 통해 가능해짐을 알 수 있었다.

A Study on the Performance Improvement of TCP using ABR/UBR Services

Myong-Hee Kim†, Bong-Ju Park†† and Seung-Seob Park†††

ABSTRACT

ATM network technology is generally used for the integration of multimedia services in high-speed Internet. ABR (Available Bit Rate) and UBR (Unspecified Bit Rate) service classes have been developed specifically to support data application.

In this paper, through the result of simulation, we analyzed the effect of TCP data transmission performance by using FRR (Fast Retransmission and Recovery) and Nagle's Algorithm on the UBR service, and by adjusting EFCI switch parameter on the ABR service. As a result of our study, performance improvement of TCP over ATM network is observed by adjusting TCP parameters and setting of effective switch parameter.

1. 서 론

B-ISDN은 인터넷에서 제공하는 모든 서비스를 수용할 수 있을 뿐만 아니라 광대역 및 대용량의 대역폭을 필요로 하는 서비스인 멀티미디어 서비스, 동화상 회의, 그리고 CATV 등의 서비스까지 제공한다. 이를 가능하게 하기 위해 B-ISDN은 ATM (Asynchronous Transfer Mode)을 채택하였다. 이 방식은 멀티미디어 서비스의 다양한 QoS를 제공한다. ATM Forum TM (Traffic Management) 4.0에서는 ATM 트래픽을 CBR (Constant Bit Rate), rt-VBR (realtime - Variable Bit Rate), nrt-VBR (non realtime - Variable Bit Rate), ABR (Available Bit Rate), UBR (Unspecified Bit Rate)의 5가지 종류의 서비스로 정의하고 있다[1]. 먼저 CBR 서비스의 예로 64K 바이트 PCM 음성신호를 들 수 있으며, 영상신호나 데이터 신호도 CBR 서비스 형태로 제공될 수 있다. VBR 서비스의 예로는 영상이나 음성신호 등이 있으며, 비실시간 서비스의 예로는 데이터 전송이 있는데, UBR

본 연구는 부경대학교 연구비로 수행되었음.

† 준회원, 부경대학교 대학원 전자계산학전공 재학중
†† 준회원, 부경대학교 전자계산학과 박사과정 재학중
††† 종신회원, 국립 부경대학교 컴퓨터멀티미디어 공학부 교수

서비스가 여기에 속한다. 또한 향후 통신망의 트래픽이 실시간성 서비스를 요구하는 음성보다는 비실시간성 서비스의 데이터 트래픽이 증가 할 것으로 예상되고 있다[13].

ABR 서비스는 고속의 데이터 전송을 위한 서비스로 적은 셀 손실과 시간에 따라 변하는 망의 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 능력 때문에 데이터 트래픽을 전송하기에 적합한 서비스이다. 이것은 RM (Resource Management) 셀을 이용하여 폭주제어를 하고 제어 변수들을 적절하게 설정함으로써 셀 손실 없는 데이터 전송이 가능하도록 송신측의 전송속도를 조절한다[1].

UBR 서비스는 위에서 언급한 서비스 중 경제적인 반면에 CBR, VBR 및 ABR 트래픽이 사용하고 남아 있는 대역폭을 활용하여 데이터를 전송하기 위해 제안되었으며, 응용 예로는 지연이나 지연 변이에 대한 엄격한 요구가 없는 전자우편이나 파일 전송 서비스 등이다[7].

TCP는 현재 데이터를 전송하기 위한 인터넷 전송 프로토콜로 가장 많이 사용되며, 기본적으로 데이터를 신뢰성 있게 전송하기 위하여 윈도우를 이용한다[2].

본 논문에서는, ABR/UBR 서비스 상에서의 TCP의 성능향상을 위해 ATM 스위치 파라미터 설정과 TCP 파라미터의 영향에 대하여 다양한 조건하에서 시뮬레이션을 통해 평가하였다.

본 논문 구성은 서론에 이어, 2장에서는 ATM 네트워크 상에서의 TCP/IP, TCP 흐름제어 방식과 ATM 층의 ABR/UBR 서비스에 대한 관련연구를 설명하고, 3장에서는 시뮬레이션 환경 설정 및 성능평가요소에 대해 기술하였으며, 4장에서는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 성능평가에 대해 설명하였고, 마지막으로 5장에서 결론을 서술하였다.

2. ATM 네트워크 상에서의 TCP/IP

현재 IETF의 RFC 1483에서 규정한 멀티프로토콜 캡슐화 방식으로 "LLC/SNAP 캡슐화"가 있다[6]. ATM 망을 통해 전달되는 모든 정보는 AAL 계층에서 AAL PDU로 캡슐화된 다음에 ATM 계층으로 전달된다.

ATM 적응 계층(AAL : ATM Adaptation Layer)은 상위 계층에서 전달되는 패킷의 성격에 따라 AAL1, AAL2, AAL3/4, 및 AAL5가 존재하는데 IETF에서는 IPOA를 위해 AAL5를 사용하는 것으로 정하고 있다. AAL 5는 AAL 3/4보다 오버헤드가 적고, 다중화 기능이 없으며 연결형 데이터 서비스를 위해 사용된다.

그림 1에서 보여주고 있는 바와 같이 IP 패킷은 AAL 계층에서 필요한 정보가 트레일러 부분에 삽입되어서 AAL5 프레임을 형성한 뒤 AAL5 계층 내의 부 계층(SAR : Segmentation and Reassembly)에 의해 48 바이트의 셀 페이로드로 나누어져 ATM 계층으로 전달되면 ATM 계층은 5 바이트의 셀 헤더를 덧붙여 53 바이트의 셀을 형성하여 전송하게 된다. AAL5 프레임은 페이로드와 8 바이트의 트레일러로 구성되는데 트레일러에 들어가는 주요 정보로는 AAL5 페이로드 안에 차지하고 있는 IP 패킷의 길이를 나타내는 필드와 에러 조사를 위한 CRC 필드가 있다. AAL5 프레임 페이로드는 최대 65k 바이트의 길이를 가질 수 있다. 그리고 각 셀 헤더에 EOM (End of Message) 비트를 설정하는데 모든 셀은 그 프레임의 마지막 셀을 제외하고 모두 0로 설정된다. 이 비트 설정은 ATM 장치가 프레임 단위 경계를 인식하는데 이용된다. AAL 페이로드에는 상위 계층에서 전달되는 여러 종류의 패킷 혹은 프레임을 포함하게 된다.
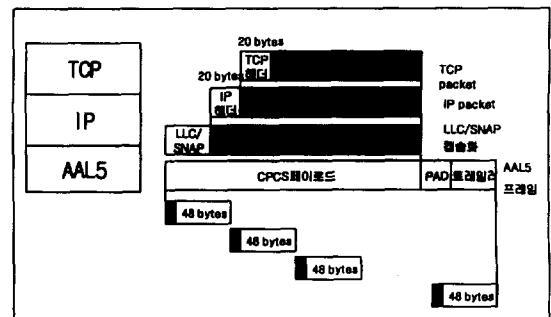
그림 1. LLC/SNAP 헤더를 이용한 IP와 AAL 계층간의 프레임 변환

2.1 TCP 흐름제어 방식

TCP는 연결지향 프로토콜로서 현재 데이터를 전송하기 위한 전송 프로토콜로 많이 사용되고 있으며 데이터를 신뢰성 있게 전송하기 위하여 윈도우를 이

용하여 폭주 제어와 오류제어를 수행한다. 또한 TCP는 점 대 점 통신이 가능하며 전이중방식의 데이터 전송을 제공한다. 또한 오류제어와 흐름제어를 위하여 go-back-N ARQ와 슬라이딩 윈도우 방식을 이용한다.

현재의 TCP는 1981년에 RFC 793에서 공식적으로 정의되었으며 수많은 TCP의 성능개선과 구현규격이 계속 추가되었고, 이는 1989년 RFC 1122에서 문서화되었다. 이것의 확장인 RFC 1323이 1992년에 정의되었으며, 표 1은 구현과 표준화 상태에서 TCP 흐름 제어의 발전을 보여준다. 제1세대 TCP는 신뢰성 없는 네트워크 상에서 바이트 스트림의 효율적이고 신뢰성 있는 전송을 위해 타임아웃에 기반을 둔 재전송과 윈도우 흐름 제어가 도입하였고, 제2세대 TCP는 혼잡을 완화시키기 위해서 Slow start와 혼잡 회피를 이용하였으며, 제3세대 TCP는 에러를 빠르게 복구하기 위해 빠른 재전송과 회복 (FRR : Fast Retransmission and Recovery)을 도입하였고, 제4세대 TCP에서는 고속 네트워크를 겨냥하여 길고 굵은 파이프를 다루기 위해 윈도우 크기 옵션과 타임스탬프 옵션이 추가되었다[10]. 또 SACK (Selective acknowledgments)가 제안되었는데, SACK를 이용하는 수신측은 세그먼트에 대한 송신측 정보를 얻을 수 있다. 이러한 기능들은 표 1에서처럼 BSD로 구현되었다[9].

표 1. TCP 흐름 제어의 발전

Objectives	Implementation	Standardization
- Connectivity - Reliability	4.2 BSD (1983) - Window flow control - Time-out based retransmission	RFC 793 (1981)
- Connectivity mitigation	4.3 BSD (1989) - Slow start - Congestion avoidance - Fast retransmit	RFC 1122 (1982)
- Fast error recovery	4.3 BSD Reno (1990) - Fast recovery	RFC 2001 (1997)
- Long fat pipe	4.4 BSD (1993) - Window scale option - Time stamp option	RFC 1323 (1992)
- Effective error recovery	Selective Ack	RFC 2018 (1996)

빠른 재전송은 송신측이 순차 번호 순서대로 세그먼트를 송신하며 수신측에서는 순차 번호 순서대로 세그먼트를 수신한다. 만약 수신측에서 순차 번호 순서에 어긋난 세그먼트가 수신되면 수신측은 수신되지 않은 순차 번호로 ACK를 송신하며 이는 올바른 순차번호의 세그먼트가 수신 될 때까지 반복된다. 따라서 송신측에서 중복된 ACK가 3개 이상 수신되면 이는 세그먼트의 손실로 간주되며 즉시 손실된 세그먼트를 재전송함으로써 재전송 타이머가 만료될 때까지 기다려하는 시간을 줄이는 방법이다.

빠른 회복은 세그먼트의 손실 시 폭주윈도우의 1/2을 SS-threshold로 설정하고, 폭주윈도우의 크기를 1로 설정하고서 Slow Start 단계로 들어가는 방법이 보수적이라고 판단하여, 이러한 방법 대신 세그먼트의 손실 시 폭주윈도우 크기의 1/2를 현재 폭주윈도우의 크기로 설정하고, 곧바로 혼잡 회피 단계로 들어가게 함으로써 Slow Start 단계를 제거하는 방법이다.

Silly Window Syndrome Avoidance (Nagle's Algorithm)는 작은 크기 데이터 세그먼트를 보낼 때 TCP와 IP 헤더가 네트워크 대역폭을 낭비하는 것을 피하기 위해 수신측에서는 작은 크기의 세그먼트가 수신될 때, 윈도우가 작게 증가하는 것을 피하고 송신측은 수신측의 데이터 세그먼트를 받아들일 여유 공간이 있더라도 수신측으로 작은 크기의 데이터 세그먼트를 보내는 것을 피해야 한다.

TCP는 작은 크기의 데이터 세그먼트 전송을 피하기 위해 그림 2와 같이 *S1*과 *S2*의 2단계를 사용한다. *S1* 상태에서, 송신측은 적어도 $1 \times MSS$ 크기의 송신할 데이터를 가지고 MSS 세그먼트를 수신할 공간을 가진다면, TCP는 MSS 세그먼트를 전송한다. 여기서 *D*는 전송되는 데이터의 양이고, *U*는 수신측에

S1 : ***If*** $\min(D, U) \geq 1 \times MSS$
then *transmit a segment with* $1 \times MSS$ *of data*

S2 : ***If*** *an ACK from the peer acknowledges all the outstanding data and there are X octets of data waiting in the send buffer*
then *transmit a segment with* $\min(X, U)$ *octets of data*

그림 2. Nagle's Algorithm

서 수신 가능한 버퍼의 공간을 나타낸다. 데이터의 확인응답이 오지 않았을 때, *S1*과 *S2* 상태는 TCP가 MSS 세그먼트를 보낼 수 있을 때까지 또는 아직 응답되지 않은 모든 데이터에 대한 확인응답이 있을 때까지 작은 크기의 데이터 세그먼트를 저장하도록 한다. 즉, 확인응답 받지 않은 데이터가 없으면 TCP는 데이터 양이 $1 \times MSS$ 보다 작아도 송신버퍼 안에 저장된 데이터를 전송한다[8].

2.2 ATM 층의 흐름제어

2.2.1 UBR 서비스

UBR 서비스는 셀 지연이나 셀 손실에 대한 서비스 품질 보장이 전혀 없는 방식으로 기존의 "best effort" 서비스가 이에 해당한다. 전송 대역폭이 할당되지 않으며 사용 파라미터 제어나 피드백 제어 등의 어떠한 트래픽 제어도 적용되지 않는다. 이러한 이유로 상위 계층인 TCP의 제어방식에 의존한다.

ATM 스위치의 버퍼에서 하나의 셀 손실은 TCP 층의 하나의 패킷 손실로 이어진다. 이는 망에서 낮은 처리율과 공정성으로 이어져 확실한 QoS의 보장이 어렵다. 이러한 단점을 보완한 셀 폐기 정책인 EPD (Early Packet Discard)나 PPD (Partial Packet Discard), RED (Random Early Detection) 등을 사용해 망에 불필요한 대역폭 낭비를 줄일 수 있다[7].

EPD는 버퍼에 임계치를 두어 이 임계치를 넘는 패킷의 첫 번째 셀이 있으면 그 셀과 동일한 가상채널 식별자를 가지는 패킷 전부를 폐기하는 방법이다. 버퍼 오버플로우로 야기되는 패킷의 손실을 방지하여 불필요한 재전송과 대역폭 낭비를 막는다. 그러나 버퍼 오버플로우가 발생되면 폐기되지 않은 손상된 패킷의 앞부분이 종단 사용자에게 전송됨으로서 대역폭과 버퍼측면에서 자원의 낭비를 초래 할 수 있다[4].

2.2.2 ABR 서비스

ABR 트래픽에서는 망의 상태에 따라 송신측의 전송률을 조정할 수 있고, 이용 가능한 네트워크 자원을 공평하고 효율적으로 사용할 수 있다.

송신측은 수신응답이 타임아웃 기간 동안 도달되지 않은 경우와 같은 이진 피드백 방식(EFCI 방식)이나 RM 셀에 의한 명시적인 방식(ER 방식)으로 네트워크의 폭주상태에 대한 정보를 얻는다. ER 방식에서 소스는 N개의 데이터 셀을 전송 후 하나의 FRM 셀을 전송하고 수신측에 의해 BRM 셀을 받기 전에는 일정한 비율로 전송속도를 감소시킨다. BRM 셀을 받으면 CI 비트를 검사하여 CI=0 이면 지금까지 감소시켰던 전송속도를 보상하기 위해 연결 설정시에 결정된 AIR (Additive Increase Rate)로 ACR을 빠르게 증가시킨다. 이때 ACR은 고정된 크기의 PCR×RIF 만큼씩 증가 되지만 PCR을 초과할 수는 없다. 만일 CI=1 이면 ACR을 RDF (Rate Decrease Factor)에 의해 ACR을 서서히 감소시킨다. 이때 ACR은 ACR×RDF 만큼 감소되는데 MCR이하로 감소시킬 수는 없다.

ERICA는 *VCshare*와 *Fair Share*를 계산하고 스위치의 로드상태를 나타내는 load factor (z)를 사용한다. 먼저 z는 Input Rate를 Target Rate로 나눈 값으로 정의되며, 스위치의 Target Rate는 전체 대역폭의 90~95 % 정도로 높게 설정한다. 스위치가 계산하는 *Fair Share*는 Target Rate를 활성화된 VC의 수로 나눈다. 마지막으로 *VCshare*는 현재 셀 전송률(CCR)을 load factor(z)로 나눈 값으로 표현된다. 이렇게 계산된 값을 역방향 RM셀의 ER필드에 실어서 송신측에 전달해 폭주를 회피하게 된다[5].

3. 시뮬레이션 환경

여기서는 앞서 기술된 TCP의 흐름제어와 ATM 망에서의 ABR, UBR 서비스의 트래픽 제어 방식이 결합된 경우에 있어서의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이션 망 모델과 파라미터에 대해 설명한다. 그리고 C++로 작성된 YATS ATM 네트워크 시뮬레이션 도구를 사용하여 시뮬레이션 하였다[3].

3.1 시뮬레이션 모델

UBR과 ABR 서비스 상에서 TCP의 성능 분석을 위해 그림 3과 같은 하나의 병목 구간을 가지는 점대 점 모델을 설정하였다. 전송방향은 단방향 트래픽으로 데이터를 전송하게 하는 모델이다[12,14].

링크 속도는 150 Mbps이고, 스위치간 거리는 500 Km에서 3000 Km까지 변화시켜서 시뮬레이션 하였다. TCP 컨넥션의 수는 1에서 최대 *n*까지로 하였고, 각 TCP 컨넥션과 스위치 사이의 전송거리는 n * 0.56 Km로 설정하였다.
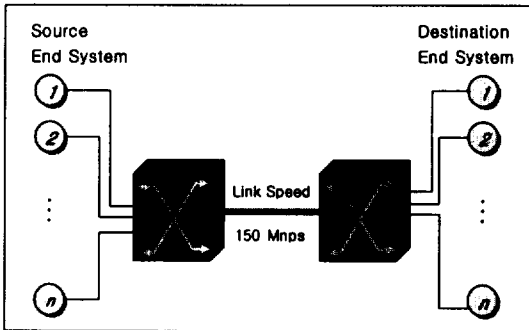
그림 3. 시뮬레이션 모델

3.2 시뮬레이션 파라미터 및 성능평가 요소

그림 4는 시뮬레이션에 필요한 주요 파라미터의 설정을 나타내었다. 본 논문에서 TCP의 파라미터의 적용과 ATM 스위치 파라미터를 조정하여 ATM 상에서의 TCP 성능개선을 도모하였다.

ATM 상에서의 TCP 성능평가는 효율성, 처리율, 공정성에 의해 정의된다.

효율성은 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$Efficiency = \frac{(Sum\ of\ TCP\ throughput)}{(Maximum\ possible\ TCP\ throughput)}$$

여기서 TCP 처리율은 목적지 TCP 층에서 측정되고, 목적지 애플리케이션으로 전달된 총 바이트 수로 정의되며, 이 값은 전체 시뮬레이션 시간(300 ms)으로 나눈 값이다.

TCP
평균 패킷 처리 = 300 ㎲
송신/수신 버퍼 크기 = 64000 바이트
Maximum Segment Size = 3000 바이트
최소 RTO = 100 msec
Fast Retransmission and Recovery = On/Off
Nagle's Algorithm = On/Off

L ink
속도 = 150Mbps

ABR end system
PCR(Peak Cell rate) = 150 Mbps
Nrm = 32
MCR(minmum cell rate) = 0 Mbps

ABR/UBR Switch
출력 버트 크기 = 4096 cells
EPD Threshold = 3500 cells

그림 4. 시뮬레이션 파라미터

ATM 계층에서는 TCP 최대 세그먼트 크기(MSS)를 2000 바이트에 TCP 헤더 20 바이트, IP 헤더 20 바이트, LLC 헤더 8 바이트, AAL 트레일러 8 바이트가 패딩과 ATM 층의 헤더 5 바이트가 합쳐져서 총 43 셀이 된다. 따라서 $42*48 < 2000 < 43*48$로 43개의 cell이 만들어지고, ATM 층에서는 헤더 5바이트가 더해져 53 바이트의 셀이 43개로 2279 바이트가 된다. 결과적으로, 최대 이용 가능한 처리율은 2000 바이트가 실제 전송을 위해서는 2279 바이트가 되므로 0.87 퍼센트(130.5 Mbps)만이 전송 가능하게 된다.

마지막으로 공정성은 서로 다른 VC 간 대역폭 할당에 있어서 공평하게 할당받았는가를 평가하는 기준으로 다음 식과 같이 주어진다.

$$Fairness = \frac{(\sum x_i)^2}{n \times (\sum x_i^2)}$$

여기서, $x_i = T_i / O_i$로 T_i $(i = 1....n)$는 각 VC마다 단위시간당 성공적으로 도착된 트래픽양을 바이트 단위로 측정하고, O_i $(i = 1....n)$는 최대-최소의 최적 처리율이고, n은 전체 VC의 수이다. 공정성의 기준값을 1로 설정하였는데, 공정성의 의미는 각 TCP 컨넥션 간의 대역폭을 공평하게 할당받았는가를 평가한다[11].

4. ATM 망에서의 TCP 성능평가

표 2에서는 VC 수와 거리의 변화에 따른 효율성과 공정성의 변화를 보여 주고 있고, 특히 UBR+EPD는 VC 수가 증가함에 따라 높은 효율성을 보였지만, 거리가 멀어짐에 따라서는 낮은 효율성을 나타냈었다. 이를 통해 UBR+EPD가 노드 수 보다 거리의 변화에 더 민감한 것을 알 수 있다. 이는 UBR 스위치가 버퍼 크기에 의존하기 때문에 거리가 멀수록 망에 잘 대처하지 못해 낮은 효율성을 보이고 있다.

ERICA는 피드백 되어온 정보에 의해 전송률을 조정한다. RM 셀 필드의 계산된 ERICA 값에 의한 각 대역폭을 할당받기 때문에 VC 수가 증가되고 거리가 멀어져도 여전히 높은 효율성을 나타낸다.

효율성이 높다고 해서 거리마다 충분히 자기 전송량 만큼 전송했다고 볼 수는 없다. 그래서 표 2에는 VC 수와 거리의 변화에 따른 공정성을 나타내고 있는데, 공정성 평가에서 ERICA가 거리에 따라서도 대역폭을 공평하게 할당받음을 알 수 있었다.

표 2. VC 수와 거리에 따른 효율성과 공정성

	효율성(백분율)				공정성(백분율)			
	UBR	UBR+EPD	EFCI	ERICA	UBR	UBR+EPD	EFCI	ERICA
VC 수								
10	44.6	57.7	83.3	79.5	87.8	86.3	99.6	100.0
20	58.7	71.3	71.3	79.6	65.0	81.8	98.7	100.0
30	65.6	71.3	72.5	79.7	63.2	74.4	90.2	100.0
40	64.3	84.1	65.5	79.8	64.9	71.0	82.9	100.0
50	65.1	84.8	68.1	79.9	68.7	67.4	86.1	100.0
60	60.7	77.5	71.0	80.1	69.0	61.0	78.2	100.0
70	62.9	86.2	67.5	80.1	68.2	61.5	65.9	100.0
거리(Km)								
500	61.3	79.2	67.1	80.2	65.0	67.7	87.6	100.0
1000	59.1	72.6	49.9	79.5	70.7	73.8	68.3	100.0
1500	56.9	71.5	56.7	79.3	57.2	74.4	82.0	100.0
2000	55.9	70.1	53.8	79.0	57.2	81.3	55.9	100.0
2500	55.5	69.9	50.9	78.7	62.6	81.1	82.6	100.0
3000	43.3	68.3	58.1	78.5	56.5	78.6	79.5	100.0

UBR의 경우 매우 낮은 결과가 나왔는데, 이것은 UBR이 버퍼의 오버플로우와 TCP 흐름 제어방식에 의존하기 때문이다. 그리고, UBR+EPD는 UBR에 비해 높은 효율성을 가지는 반면 여전히 낮은 공정성을 보여 주고있다.

4.1 UBR 서비스 상에서의 성능평가

UBR 서비스 상에서는 TCP 종단 시스템의 파라미터 중 FRR과 Nagle의 ON/OFF에 따른 TCP 성능을 거리에 따른 처리율과 공정성으로 측정하였으며, 모든 VC 수의 변화 상태에서가 아니라 표 2에서와 같이 UBR과 UBR+EPD의 효율성과 공정성이 비교적 높은 VC 수가 50 일 때를 기준으로 실험하였다.

그림 5과 그림 6에서는 기본적인 UBR 스위치에 FRR과 Nagle's 알고리즘을 적용했을 때와 하지 않았을 때의 처리율과 공정성을 비교하고 있다.
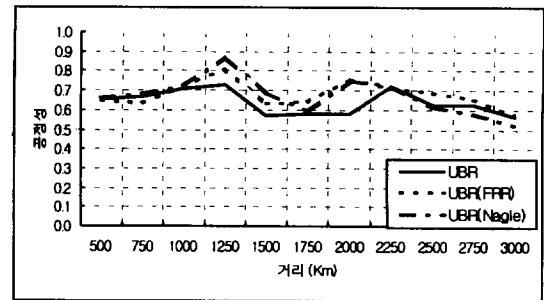
그림 6. UBR 스위치의 거리에 따른 공정성

TCP 파라미터인 FRR이나 Nagle을 적용했을 때 성능이 향상됨을 보여주고 있는데, 이는 UBR 서비스가 명백한 제어 메커니즘을 지니지 않기 때문에 상위계층의 제어를 받는다는 것을 알 수 있었다.

그림 7과 그림 8은 UBR+EPD 스위치의 처리율과 공정성을 나타내고 있으며, UBR 스위치에서와
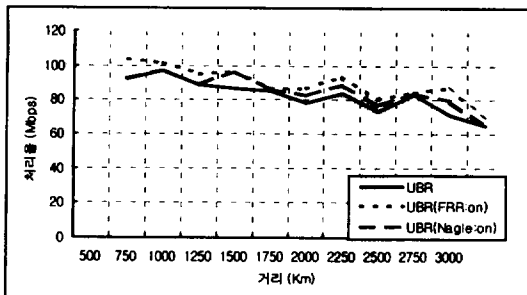
그림 5. UBR 스위치의 거리에 따른 처리율
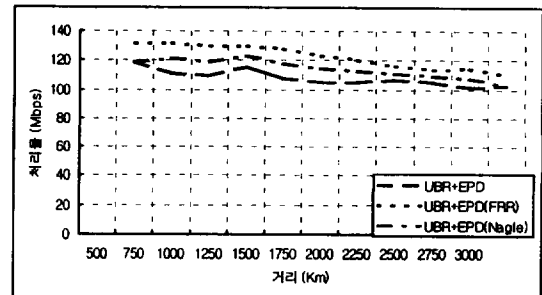
그림 7. UBR+EPD 스위치의 거리에 따른 처리율
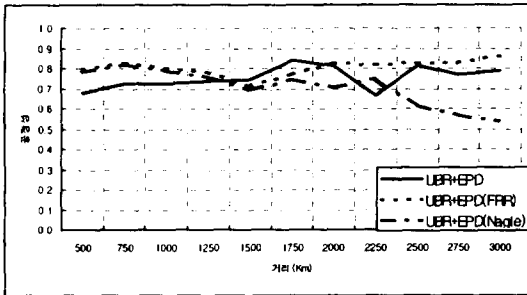
그림 8. UBR+EPD 스위치의 거리에 따른 공정성

그림 9. EFCI의 RDF와 RIF 변화에 따른 처리율과 공정성

같이 FRR이나 Nagle을 적용했을 때 향상된 성능을 보여주고 있다. 특히 Nagle 보다 FRR이 UBR 서비스 상에서 더 나은 결과를 보여 주고 있다. 그 이유는 TCP층에서 혼잡 발생 시 타임아웃 때까지 기다리지 않고 잘못된 패킷을 재 전송하는 기법(FRR)이 UBR의 셀 손실을 막는데 도움이 되는 것을 알 수 있다.

4.2 ABR 서비스 상에서의 성능평가

ABR 서비스 상에서 ERICA를 사용한 TCP 데이터는 손실이 적고, 매우 안정적이며 공정성에 대해서도 우수한 성능을 표 2에서 보여주고 있는 반면, 상대적으로 낮은 성능을 나타내는 EFCI 스위치 방식에서 TCP 성능 개선을 위한 파라미터 조절을 통한 개선을 나타낸다.

EFCI의 두 파라미터인 RIF와 RDF를 변경함으로써 처리율과 공정성의 변화를 그림 9에 나타내었다.

특히 효율성 면에서는 RIF=1/8, RDF=1/512의 값을 가질 때 높았고, RDF 값을 줄일수록 낮게 나타났다. 이러한 이유는 ACR을 천천히 증가시키다가 폭주 신호를 받을 때 급격하게 전송량을 감소시킴으로써 손실을 줄이고 서서히 증가하기 때문에 다른 TCP 컨넥션이 전송할 수 있는 기회가 주어지기 때문이다. 그러므로 재전송량을 줄일 수 있고 공정성에 대해서도 안정적인 결과를 보인다. 그러나 실제적인 효율성 면에서는 전체 대역 용량을 1로 보았을 때 충분히 사용하지 못하고 있다. 여기서 효율성과 공정성의 기준을 1로 설정하였는데, 효율성에서 1은 최대 전송 가능한 TCP 처리율을 실제 TCP 처리율로 나눈 값이 된다.

4.3 LAN과 WAN 환경에 따른 성능

표 3에서는 TCP 파라미터들(FRR, Nagle)이 스위치간 거리에 따라서는 성능변화에 어떤 영향을 주는지 보여주고 있다.

거리는 크게 LAN 일 때와 WAN 일 때로 나누어서 실험하였는데, LAN은 스위치간 거리가 1 Km로 하고, WAN 일 때는 1000 Km로 가정하였다. 또 스위치는 EFCI와 ERICA, 그리고 UBR과 UBR+EPD에 모두 적용하여 시뮬레이션 평가하였다.

표 3. LAN과 WAN에서 FRR과 Nagle 의 효과

알고리즘 \ 스위치	UBR		UBR+EPD		EFIC		ERICA	
	처리율	공정성	처리율	공정성	처리율	공정성	처리율	공정성
LAN	97.6	68.7	120.6	66.9	103.5	75.0	121.4	100.0
WAN	65.0	56.5	114.6	70.8	75.2	75.4	120.2	100.0
Nagle								
LAN	98.2	65.5	126.8	68.6	103.5	79.3	121.4	100.0
WAN	70.8	59.2	123.7	60.7	75.2	75.4	120.2	100.0
FRR								
LAN	100.2	61.7	130.3	82.6	104.8	75.3	121.4	100.0
WAN	80.3	60.8	131.7	80.8	98.4	82.9	120.2	100.0

ERICA는 FRR과 Nagle을 ON 했을 때와 하지 않았을 때의 처리율과 공정성 모두 같았고, EFCI 알고리즘은 Nagle에는 전혀 반응을 보이지 않은 반면에 FRR에는 약간의 향상을 보였다. 이와 같은 결과는, ERICA 스위치는 ABR 율 기반 흐름제어에 의해 전송량을 할당받아 ACR을 조절하기 때문에 이들 TCP 파라미터에 영향을 받지 않는다. 그렇지만 EFCI 스위치는 폭주 시 RM 셀의 EFCI 비트에 마크하는 것으로 전송량을 조절하므로 성능을 약간의 변화를 확인 할 수 있었다.

UBR+EPD의 경우, LAN 환경에서 FRR과 Nagle 모두 성능향상을 가져오지만 WAN 환경에서는 LAN 환경과 비교해서 낮은 성능을 보였다. 특히 FRR은 TCP층에서 혼잡 발생 시 타임아웃 때까지 기다리지 않고 잘못된 패킷을 재전송 하는 기법이 스위치간 거리가 가까운 LAN 환경에서 UBR의 셀 손실을 막는데 도움이 되지만 상대적으로 거리가 먼 WAN 환경에서는 성능 향상을 기대하기 어렵다.

5. 결 론

본 논문에서는 시뮬레이션의 결과를 통해 ATM 상에서의 TCP 성능이 VC 수뿐만 아니라 거리의 변화에 따라서 달라 질 수 있음을 알 수 있었고, 구체적인 결과를 아래에 나타내었다.

1. 표 2에서와 같이 UBR 성능의 결과가 낮게 나온 이유로는 UBR이 단순히 버퍼 크기에 대한 오버플로우와 TCP 흐름 제어방식에 의존하기 때문이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 UBR 서비스 상에서는 TCP 층의 파라미터인 빠른 재전송과 회복 (FRR) 및 Nagle 알고리즘을 사용하여 UBR 서비스상의 TCP 성능을 개선됨을 알 수 있었다.

2. ABR 서비스 상에서는 스위치 파라미터인 RDF/RIF를 조절하여 EFCI 스위치를 적용한 TCP의 성능 개선을 보여주었다.

3. TCP 종단 시스템 파라미터들이 LAN과 WAN 환경에서 미치는 영향을 관찰하였는데 WAN 환경에서 보다 LAN 환경에서는 처리율과 공정성 면에서 높은 성능을 나타내었다.

결과적으로, ATM 네트워크 상에서 TCP의 성능은 UBR 서비스 상에서는 TCP 파라미터들의 설정과 ABR 서비스 상에서는 스위치 파라미터의 조절을 통해 성능이 개선됨을 알 수 있었다.

감사의 글

저자는 그간 이 논문이 완성되기까지 여러 참고문헌 수집과 도움되는 의견을 주신 한국통신 통신망 연구소의 정기태 실장님의 호의에 심심한 감사의 뜻을 표한다.

참 고 문 헌

[1] ATM Forum, ATM Traffic Management Specification Version 4.0, Apr. 1996.

[2] V. Jacobson, "Congestion Avoidance and Control," Proceedings of the SIGCOMM'88 Symposium, pp. 314-332, August. 1988.

[3] YATS simulation for ATM Networks, Dresden University Technology, 1997.

[4] Rohit Goyal, Raj Jain, Shiv Kalyanarman, Sonia Fahmy, Bobby Vandalore, "Improving the performance of TCP over the ATM-UBR service," Computer Communications 21, pp. 898-911, 1998.

[5] A. Charny, D. clark, and R. Jain, "Congestion Control with Explicit Rate Indication," Proc. ICCC'95, June 1995.

[6] RFC 1483, J. Heinaven, "Multiprotocol Encapsulation over ATM adaptation Layer 5," Jul. 1993.

[7] Miguel A, Labrador, and Sujata Banerjee, "Packet Dropping polices for ATM and IP networks," IEEE Communications, vol. 2 no. 3, 1999.

[8] Douglas E. Comer and John C. Lin, "TCP buffering and performance over an ATM Network," Journal of Internetworking : Research and Experience, 6(1), 1-13, March. 1995.

[9] M. Mathis et al., "TCP Acknowledgment Options," RFC 2018, October 1996.

[10] J. Hoe, "Improving the Start-up Behavior of a Congestion Control Scheme for TCP," Proc. of SIGCOMM, 1996.

[11] S. Kalyanaraman, Raj Jain, Sonia Fahmy, Rohit Goyal, "Performance and Buffering Requirements of Internet Protocols over ATM ABR and UBR Services," IEEE Communications Magazine, pp. 152-157, June 1998.

[12] Myong-Hee Kim, Dong-Cheol Yuk, Dong-Ryel Ryu, Seung-Seob Park, "The performance evaluation of Internet protocol with data traffic over ATM network," EALIIT2000, pp. 262-268, August 2000.

[13] 강선무, "IP 서비스를 위한 차세대 개방형 시스템 구조," 제 2회 정보통신표준화 기술, B-ISDN 워크샵, July 1999.

[14] 김명희, 오정순, 박봉주, 박승섭, "ATM 망에서 ABR/UBR 서비스상의 TCP 성능에 대한 평가," 제 13회 한국 정보처리 학회 춘계 학술대회, No.37, 2000년 4월.

김 명 희

1999년 동서대학교 정보통신공학전공(공학사)
1999년~현재 부경대학교 대학원 전자계산학전공 재학중
관심분야 : 초고속통신망, 멀티미디어통신, ATM교환시스템, 무선ATM
E-mail : mh02@unicorn.pknu.ac.kr

박 봉 주

1992년 경성대학교 전산통계(이학사)
1996년 경성대학교 전산통계(이학석사)
1998년~현재 부경대학교 전자계산학과 박사과정 재학중
관심분야 : 초고속통신망, 멀티미디어통신, ATM교환시스템
E-mail : bjpark@woongbi.pknu.ac.kr

박 승 섭

1975년~1982년 경북대학교 공과대학 전자계산전공(공학사)
1984년 일본 일본대학 이공학연구과(공학석사)
1993년 일본 동북대학(Tohoku Univ.)(공학박사)
1984년~1986년 한국통신 연구원
1989년~1990년 일본동북대학 객원 교수
1988년 Philippine Ateneo de davao university, visiting prof
1986년~현재 국립 부경대학교 컴퓨터멀티미디어 공학부 교수
관심분야 : 인터넷 엔지니어링, 초고속통신망, 멀티미디어통신, 무선 ATM망
E-mail : parkss@dolphin.pknu.ac.kr